T/CECSxxx-202x

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**防水混凝土应用技术规程**

Technical specification for application of waterproof concrete

（**征求意见稿**）

XXX出版社

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**防水混凝土应用技术规程**

Technical specification for application of waterproof concrete

**T/CECS xxx－202x**

主编单位：建筑材料工业技术情报研究所

 武汉三源特种建材有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月XX日

中 国 X X出 版 社

202X年 北 京

##

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发﹤2021年第二批协会标准制订、修订计划﹥的通知》（建标协字〔2021〕20号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分7章，主要内容包括总则、术语、基本规定、原材料、设计、施工、质量检验与验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由建筑材料工业技术情报研究所负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送建筑材料工业技术情报研究所（地址：北京市朝阳区管庄东里甲1号，邮政编码：100024）。

**主 编 单 位：**建筑材料工业技术情报研究所

 武汉三源特种建材有限责任公司

**参 编 单 位：**

××××××××××××××

××××××××××××××

××××××××××××××

**主要起草人：**××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

**主要审查人：**××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

**目次**

**[1 总 则 1](#_Toc128231695)**

**[2 术语 2](#_Toc128231696)**

**[3 基本规定 3](#_Toc128231697)**

**[4 原 材 料 4](#_Toc128231698)**

[4.1 水泥 4](#_Toc128231699)

[4.2 矿物掺合料 4](#_Toc128231700)

[4.3 骨料 4](#_Toc128231701)

[4.4 外加剂 4](#_Toc128231702)

**[5 设 计 7](#_Toc128231703)**

[5.1 一般规定 7](#_Toc128231704)

[5.2 混凝土抗裂设计 8](#_Toc128231705)

[5.3 防水混凝土性能 9](#_Toc128231706)

[5.4 混凝土配合比 9](#_Toc128231707)

**[6 施 工 11](#_Toc128231708)**

[6.1 一般规定 11](#_Toc128231709)

[6.2 模板与支撑 11](#_Toc128231710)

[6.3 浇筑、振捣与收面 12](#_Toc128231711)

[6.4 养护 13](#_Toc128231712)

**[7 质量检验与验收 15](#_Toc128231713)**

[用词说明 17](#_Toc128231714)

[引用标准名录 18](#_Toc128231715)

[附：条文说明 23](#_Toc128231716)

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc128232060)

[2 Terms 2](#_Toc128232061)

[3 Basic requirements 3](#_Toc128232062)

[4 Materials 4](#_Toc128232063)

[4.1 Cement 4](#_Toc128232064)

[4.2 Mineral admixture 4](#_Toc128232065)

[4.3 Aggregate 4](#_Toc128232066)

[4.4 Admixture 4](#_Toc128232067)

[5 Design 7](#_Toc128232068)

[5.1 General requirements 7](#_Toc128232069)

[5.2 Crack resistant design 8](#_Toc128232070)

[5.3 Properties 9](#_Toc128232071)

[5.4 Mix Proportion 9](#_Toc128232072)

[6 Construction 11](#_Toc128232073)

[6.1 General requirements 11](#_Toc128232074)

[6.2 Formwork 11](#_Toc128232075)

[6.3 Placing,Compacting and Surface Troweling 12](#_Toc128232076)

[6.4 Curing 13](#_Toc128232077)

[7 Quality Acceptance 15](#_Toc128232078)

E[xplanation of wording 17](#_Toc98752061)

[List of quoted standards 18](#_Toc128232080)

Addition：Explanation of provisions [23](#_Toc128232081)

#

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范防水混凝土在建设工程中的应用，做到技术先进、经济合理、安全可靠，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于防水混凝土在工业与民用建筑、交通、石油化工、市政、轨道交通等建设工程中的应用。

**1.0.3** 防水混凝土的材料、设计、施工和质量验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

# 2 术语

**2.0.1** 防水混凝土 waterproof concrete

以阻止水的渗漏为目标，采用合适的原材料和配合比，掺加具有改善抗裂、抗渗功能的特种外加剂、矿物掺合料、抗裂纤维等一种或多种材料，施工过程采取适宜的技术控制措施，制备具有良好抗渗性能和抗开裂性能的混凝土。

**2.0.2**  混凝土结构温峰值 peak temperature of concrete structure

混凝土在水化温升过程中，混凝土构筑体内部的最高温升值。

**2.0.3** 温控型镁质抗裂剂 temperature-controlled magnesium anti-cracking agent

一种在混凝土制备搅拌过程中加入，以水化热调控材料和轻烧氧化镁膨胀剂为关键组份，可降低混凝土温升、同步补偿混凝土收缩的功能型外加剂。

**2.0.4** 混凝土绝热温升降低率 reduction rate of adiabatic temperature rise of concrete

规定龄期下，基准混凝土和受检混凝土绝热温升值之差与基准混凝土绝热温升值的比值，以百分率表示。

**2.0.5** 混凝土用钙镁复合膨胀剂 calcium and magnesium oxides based expansive agent for concrete

由轻烧氧化镁材料与氧化钙类或硫铝酸钙-氧化钙类膨胀材料按照一定比例复合的混凝土膨胀剂。

# 3 基本规定

**3.0.1**防水混凝土宜用于有防水要求的地下工程、防护工程、综合管廊、各种箱涵、隧道工程、各类水池等工程。

**3.0.2**  防水混凝土的设计应包括抗渗性能、抗裂性能和工程所处环境和工作条件的耐久性要求。

**3.0.3**  对于结构最小截面尺寸超过800mm或预测因水化热容易产生开裂的防水混凝土，宜针对性的制定专项技术方案。

**3.0.4**  防水混凝土工程应以混凝土结构自防水为主，设计和施工过程中宜采取必要措施少设或不设结构缝。

**3.0.5** 防水混凝土工程中采用新材料、新技术、新工艺时应经过试验验证，其中创新性的技术方法和措施应进行专题评审论证并符合本规范的相关要求。

# 4 原 材 料

**4.1 水泥**

**4.1.1** 水泥宜选用符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。

**4.1.2** 大体积混凝土宜选用中、低热硅酸盐水泥，也可以使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥同时复合大掺量矿物掺合料，中、低热硅酸盐水泥应符合《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T200的规定。

**4.1.3**  在受侵蚀性介质作用时，可按侵蚀介质的性质选用相应的水泥品种；

**4.1.4**  水泥的比表面积不宜大于380m2/kg。

**4.1.5**  水泥在搅拌站的入机温度不应高于60℃。

**4.1.6** 不得使用过期或受潮结块的水泥，不得将不同品种或强度等级的水泥混合使用。

**4.2 矿物掺合料**

**4.2.1** 粉煤灰的品质应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596的有关规定，宜采用II级或Ⅰ级粉煤灰。

**4.2.2**  粒化高炉矿渣粉应符合现行国家现行标准《用于水泥和混凝土中的理化高炉矿渣粉》GB/T 18046的有关规定。

**4.2.3**  硅灰应符合《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690的有关规定，用量宜为胶凝材料总量的3%~5%。

**4.2.4**  石灰石粉应符合《用于水泥砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164的有关规定。

**4.2.5**  复合掺合料应符合《混凝土用复合掺合料》JG/T 486的有关规定。

**4.2.6**  采用其他品种的矿物掺合料时，除满足相应的技术标准之外，应进行混凝土试配，经过系统验证后使用。

**4.3 骨料**

**4.3.1** 宜选用坚固耐久、粒形良好的洁净石子，不得使用碱活性骨料，宜采用粒径连续级配石子，石子质量要求应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的有关规定。

**4.3.2** 普通混凝土的粗骨料粒径不宜大于31.5mm，纤维混凝土的粗骨料粒径不宜大于25 mm，骨料粒径不得超过构件截面最小尺寸的1/4，且不得超过钢筋最小净间距的3/4；

**4.3.3**  宜选用线膨胀系数较小岩石加工的骨料，常用岩石的线膨胀系数见表4.3.3所示。

**表4.3.3 常用岩石的线膨胀系数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 岩石种类 | 石英岩 | 砂岩 | 玄武岩 | 花岗岩 | 石灰岩 |
| 线膨胀系数(×10-6/℃) | 10.2～13.4 | 6.1～11.7 | 6.1～7.5 | 6.5～8.5 | 4.6～6.0 |

**4.3.4** 砂宜选用坚硬、抗风化性强、洁净的中粗砂，不得使用未经处理的海砂；砂的质量应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684的有关规定。

**4.4 外加剂**

**4.4.1**防水混凝土宜优先选用聚羧酸系高性能减水剂，性能应符合《混凝土外加剂》GB 8076的有关规定。

**4.4.2** 膨胀剂使用应符合下列规则：

**1** 硫铝酸钙类、氧化钙类及硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂性能指标及检测应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439的规定。

**2** 硫铝酸钙类膨胀剂配制的防水混凝土不得应用于长期环境为80℃以上的工程结构中。

**3** 氧化钙类及硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂不宜用于防水混凝土结构内部最大温峰值为40℃以上的工程结构中。

**4** 氧化镁膨胀剂性能指标应符合现行标准《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》T/CECS 540的规定。

**5** 氧化镁膨胀剂不宜用于混凝土中心温峰值小于20℃的混凝土构件或冬期施工的最小尺寸小于150mm的防水混凝土构件中。

**6** 钙镁复合膨胀剂应符合现行标准《混凝土用钙镁复合膨胀剂》T/CECS 10082的规定。

**7** 防水混凝土中掺入温控型镁质抗裂剂时，其性能指标应符合表4.4.2的规定。

**表4.4.2 温控型镁质抗裂剂性能指标**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 氯离子/% | ≤0.06 |
| MgO含量/% | ≥80.0 |
| 碱含量/% | ≤0.75 |
| 细度（0.08 mm筛余）/% | ≤5.0 |
| 胶砂限制膨胀率（40 ℃水养）/% | 7 d | ≥0.015 |
| Δξ | ≥0.015 |
| 胶砂限制膨胀率（40 ℃水养）/% | 7 d | ≥0.030 |
| Δξ | ≥0.030 |
| 水化热降低率/% | 24 h | ≥30 |
| 7 d | ≤15 |
| 胶砂抗压强度/MPa | 7 d | ≥22.5 |
| 28 d | ≥42.5 |

注：Δξ为胶砂试件在20℃或40℃水中养护28d的限制膨胀率与养护7d的限制膨胀率的差值；水化热降低率测试按照《混凝土水化温升抑制剂》JC/T 2608 执行。

**4.4.3** 防裂抗渗复合材料应符合现行标准《用于混凝土中的防裂抗渗复合材料》T/CECS10001的规定。

**4.4.4**当防水混凝土中掺入水化热调控材料时，其性能指标应符合现行标准《混凝土水化温升抑制剂》JC/T2608的规定。

**4.4.5** 防水混凝土掺入的合成纤维可采用聚丙烯纤维、聚丙烯腈纤维、聚酰胺纤维或聚乙烯醇纤维等，其质量要求、检验规则及质量检验方法应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120的规定。

**4.4.6** 钢纤维的质量要求、检验规则及质量检验方法应符合现行国家标准《混凝土用钢纤维》GB/T 39147的规定，纤维的品种及掺量应通过试验确定。

**4.4.7** 防水混凝土施工中使用水泥基渗透结晶型防水剂时，其性能指标应符合现行国家标准《水泥基渗透结晶型防水材料》GB 18445的规定。

# 5 设 计

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 防水混凝土的设计抗渗等级，应符合表5.1.1的规定。

**表5.1.1 防水混凝土的设计抗渗等级**

|  |  |
| --- | --- |
| 工程埋置深度H（m） | 设计抗渗等级 |
| H＜10 | ≥P6 |
| 10≤H＜20 | ≥P8 |
| 20≤H＜30 | ≥P10 |
| H≥30 | ≥P12 |

**5.1.2** 防水混凝土的设计抗裂性能应符合表5.1.2的要求。

**表5.1.2 防水混凝土的设计抗裂性能指标**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构最小截面尺寸d | 强度等级 | 结构部位 | 早期开裂面积（mm2/m2） | 限制膨胀率（%） | 温升值（℃） | 60d干缩率（\*10-6） |
| ≤250mm | - | - | ≤400 | - | - | ≤400 |
| 250mm＜d≤500mma | ＜C40 | 梁板 | - | ≥0.015 | - | ≤380 |
| 墙体 | - | ≥0.020 | - |
| ≥C40 | 梁板 | - | ≥0.015 | ≤30 |
| 墙体 | - | ≥0.020 |
| - | 后浇带、膨胀加强带 |  | ≥0.025 | - | - |
| ＞500mmb | ＜C40 | 梁板 | - | ≥0.015 | Δξ（28-7）≥0.05 | ≤40 | ≤380 |
| 墙体 | - | ≥0.020 |
| ≥C40 | 梁板 | - | ≥0.015 | ≤50 |
| 墙体 | - | ≥0.020 |
| - | 后浇带、膨胀加强带 | - | - | - |

备注：a：250＜d≤500mm时，限制膨胀率的测试方法按标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178的相关规定执行；

b：d＞500mm时，限制膨胀率的测试方法按标准《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》T /CECS 540的相关规定执行。

**5.1.3** 地下工程迎水面主体结构、预制拼装衬砌结构和内部储水区域的结构应采用防水混凝土，并应符合下列规定：

**1**防水混凝土应符合混凝土结构耐久性设计相关要求，其防水设计使用年限不应低于工程结构设计工作年限；

**2**防水混凝土结构底板、侧墙、顶板厚度均不应小于250mm，变形缝处防水混凝土结构的厚度不应小于300mm；

**3**防水混凝土设计强度等级应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定。

**5.1.4** 设计防水混凝土，应在设计图纸中注明不同结构部位防水混凝土的抗渗等级和抗裂指标要求。

**5.1.5** 处于侵蚀性介质中的防水混凝土的耐久性能应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476的有关规定。

**5.1.6** 防水混凝土中宜掺入可控制混凝土收缩裂缝和提高混凝土抗渗性能的外加剂，设计时宜对施工和使用期间的抗渗和抗裂提出具体要求。

**5.2 混凝土抗裂设计**

**5.2.1**当钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距超过现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定时，可采取设置后浇带、膨胀加强带或诱导缝或采用跳仓法施工等措施进行施工。

**5.2.2** 混凝土梁、柱、墙中纵向受力钢筋保护层厚度大于50mm时，宜对保护层采取有效的构造措施，设置防裂钢筋网片或纤维网片。当在保护层内配置防裂钢筋网片时，网片钢筋的保护层厚度不应小于25mm。

**5.2.3** 针对不同结构尺寸、强度等级和施工条件，混凝土膨胀性能调控技术中的膨胀剂种类选用可按照表5.2.3的规定进行。

**表5.2.3 混凝土膨胀性能调控技术材料选用表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构最小截面尺寸d | 强度等级 | 膨胀剂材料选用规则 |
| 硫铝酸钙类、氧化钙类、硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂 | 氧化镁膨胀剂 | 温控型镁质抗裂剂 | 钙镁复合膨胀剂 |
| R型 | M型 | S型 |
| 200mm＜d≤500mma | ＜C40 | 可选 | 宜选 |  | - | - | 宜选 |
| ≥C40 | - | - | 宜选 | - | 可选 | 可选 |
| 500mm＜d≤1000mma | ＜C40 | - | - | 宜选 | - | 可选 | - |
| ≥C40 | - | - | 宜选 | 可选 | 宜选 | - |
| ＞1000mm | - | - | - | - | 宜选 | 宜选 | - |

备注：氧化镁膨胀剂R型活性反应时间为：≤100s；M型活性反应时间为：＞100s，且≤200s；S型 活性反应时间为：＞200s，且≤300s。

**5.2.4** 对于最小截面尺寸不超过200mm的工程结构，宜采用防裂抗渗复合材料或纤维类材料，其性能指标应符合表5.2.4的规定，裂缝降低系数不宜低于55%；掺加纤维类材料的混凝土宜采用早期抗裂试验方法进行抗裂性能评价，掺加高模量合成纤维或钢纤维的混凝土宜通过折压比指标进行中长龄期混凝土的抗裂性能评价。

**表5.2.4 掺防裂抗渗复合材料的混凝土性能指标**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| Ⅰ型 | Ⅱ型 |
| 裂缝降低系数/% ≥ | 80 | 55 |
| 混凝土抗压强度比/% | 7d ≥ | 90 |
| 28d ≥ | 90 |
| 混凝土劈裂抗拉强度比/% ＞ | 100 |
| 渗透高度比/% ≤ | 85 |
| 相对耐久性/% ≥ | 80 |

**5.2.5** 在大体积混凝土或预计因水化温升导致容易开裂的防水混凝土结构中，可掺加水化热调控材料或采取减低混凝土内外温差的措施，水化热调控材料性能指标应符合表5.2.5的要求。

**表5.2.5 掺水化热调控材料的混凝土性能指标**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标值 |
| 凝结时间差/min | ≤300 |
| 泌水率比/% | ≤100 |
| 抗压强度比/MPa | 7d | ≥90 |
| 28d | ≥100 |
| 混凝土绝热温升降低率/% | 1d | ≥15 |

**5.3 防水混凝土性能**

I 拌合物性能

**5.3.1** 在防水混凝土拌合物应具有良好的和易性、粘聚性和保水性，不得离析、泌水。

**5.3.2** 防水混凝土坍落度应满足工程设计和施工要求；泵送防水混凝土拌合物性能应符合下列规定：

**1**强度等级不高于C40的防水混凝土坍落度控制目标值不宜大于200mm，坍落度经时损失不宜大于30mm/h，并应满足施工要求；

**2**强度等级高于C40的防水混凝土坍落度控制目标值不宜大于220mm，扩展度不宜小于500mm，坍落度经时损失不宜大于30mm/h，并应满足施工要求。

**5.3.3** 防水混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量和总碱含量还应符合《混凝土结构通用规范》GB55008-2021第3.1节的要求。

**5.3.4** 防水混凝土中添加纤维类材料时，纤维应分布均匀且不出现结团现象，并应满足设计和施工要求。

Ⅱ 力学性能

**5.3.5** 防水混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值划分，并应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164。防水混凝土抗压强度试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T50080的有关规定，抗压强度应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107进行合格检验判定。

**5.3.6** 防水混凝土其他力学性能应符合国家现行相关标准规定。

Ⅲ 长期性能和耐久性能

**5.3.7** 防水混凝土的抗渗等级以及其他耐久性能等级划分应符合设计要求，并应符合现行行业标准《混凝土耐久性能检验评定标准》JGJ/T193的有关规定。

**5.3.8** 防水混凝土耐久性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082的有关规定。

**5.4 混凝土配合比**

**5.4.1** 防水混凝土配合比除符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定，还宜符合下列规定：

**1** 防水混凝土设计强度等级不应低于C30；

**2** 防水混凝土用于大体积结构，可采用60d或90d的抗压强度标准；

**3** 防水混凝土胶凝材料用量应根据混凝土抗渗等级和强度等级确定，其总用量不宜小于320kg/m3；

**4** 防水混凝土水胶比不应大于0.50，有侵蚀介质时水胶比不宜大于0.45；

**5** 防水混凝土砂率宜为35%~40%，泵送混凝土砂率不宜大于45%；

**6** 防水混凝土中粗骨料用量不宜低于1100kg/m3；

**7** 防水混凝土的施工配合比应通过试验确定，试配混凝土的抗渗等级应比设计要求提高0.2MPa。

**5.4.2** 补偿收缩混凝土采用硫铝酸钙类、氧化钙类、硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂时，膨胀剂用量宜为胶凝材料总量的8-12%，其配合比设计与试验方法应按现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178的规定进行检验。采用氧化镁膨胀剂时，膨胀剂用量宜为胶凝材料总量的6-8%，其配合比设计与试验方法应按《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》T /CECS 540的规定进行；采用钙镁复合膨胀剂或温控型镁质抗裂剂时，膨胀剂用量宜为胶凝材料总量的8-12%。

**5.4.3** 当采用防裂抗渗复合材料时，防水混凝土配合比设计应符合现行团体标准《防裂抗渗复合材料在混凝土中应用技术规程》T/CECS 474的相关规定。

**5.4.4** 当采用工程纤维时纤维混凝土的最小胶凝材料用量应符合表5.4.4的规定；喷射混凝土钢纤维混凝土的胶凝材料用量不宜小于380kg/m3。合成纤维的体积率宜在0.05%~0.3%的范围内选取，当合成纤维或玄武岩纤维体积率大于0.1%时，可适当提高外加剂用量或(和)胶凝材料用量，但水胶比不应降低。合成纤维最终的体积率应根据试验验证确定。钢纤维宜选择《混凝土用钢纤维》GB/T39147-2020中所规定Ⅰ类钢丝冷拉端钩型钢纤维，钢纤维长度宜为30-60mm，长径比宜为40-100，抗拉强度不宜小于1000MPa，体积率不宜小于0.25%，且不宜大于1.0%。钢纤维须避免搅拌后结团，宜使用水溶性胶水粘结成排型钢纤维以避免起团。

**表5.4.4 纤维混凝土的最小胶凝材料用量**

|  |  |
| --- | --- |
| 最大水胶比 | 胶凝材料用量 (kg/m3) |
| 钢纤维混凝土 | 合成纤维及玄武岩纤维混凝土 |
| 0.60 | — | ≥280 |
| 0.55 | ≥340 | ≥300 |
| 0.50 | ≥360 | ≥320 |
| ≤0.45 | ≥360 | ≥340 |

**5.4.5** 混凝土中的氯离子含量、碱含量应满足《混凝土质量控制标准》GB50164的规定。

**5.4.6** 在混凝土制备前，应进行常规配合比试验，并应根据防水混凝土防渗抗裂要求进行所需的技术参数试验。

# 6 施 工

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 防水混凝土施工前应做好降排水工作，不得在有积水的环境中浇筑混凝土。

**6.1.2** 用于防水混凝土的模板应拼缝严密、支撑牢固。

**6.1.3**  混凝土结构钢筋保护层厚度控制宜采用预制钢筋间隔件，其技术指标应符合现行行业标准《混凝土结构用钢筋间隔件应用技术规程》JGJ/T 219的规定。

**6.1.4** 防水混凝土结构内部设置的各种钢筋或绑扎铁丝，不得进入保护层。用于固定模板的工具式螺栓必须穿过防水混凝土结构时，螺栓上应满焊止水环或采取其他止水构造措施。拆模后应清理螺栓头凹坑，并用聚合物水泥砂浆填实、抹平。

**6.1.5**  防水混凝土应分层连续浇筑，分层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的规定；大体积混凝土分层浇筑厚度不应大于500mm，大体积混凝土施工还应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496的有关规定。

**6.1.6** 现浇防水混凝土的冬期施工，应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104的规定。

**6.1.7** 防水混凝土应连续浇筑，宜少留施工缝，其施工缝构造形式及施工应符合《地下工程防水应用技术规范》GB50108的有关规定。

**6.1.8**  生产防水混凝土的水泥在搅拌站的入机温度不应大于60℃，浇筑时混凝土拌合物的坍落度不宜超过220mm。

**6.2 模板与支撑**

**6.2.1** 模板选择应符合下列规定：

**1** 模板的刚度应根据结构物形式与支撑条件，选择适合的模板面板及支撑体系，

**2** 防水混凝土部位浇筑时宜采用木模板或经过保温改造的钢模板。

**6.2.2** 模板设计应符合下列规定：

**1**模板及支架应依据足够承载力、刚度和稳定性的原则进行设计，应能可靠地承受施工过程中所产生的各类荷载；

**2** 对于抗渗等级≥P6的防水工程宜优先使用止水的对拉螺杆固定模板；

**3** 模板及支撑体系应保证结构物形状、尺寸和位置准确，且应便于钢筋安装和混凝土浇筑、养护及拆模；

**4** 水平结构后浇带位置模板支撑应为独立支撑。

**6.2.3**  模板安装应符合下列规定：

**1** 模板的拼缝应严密，避免漏浆；在浇筑混凝土前，模板内不应有积水；

**2** 模板及其肋板应具有足够刚度且应固定牢靠，混凝土浇筑期间严禁调整模板；采用对拉螺杆固定两侧模板时，应增加防止模板倾斜或晃动的支撑；

**3** 当需要在下层楼板拆模前浇筑楼板混凝土时，应确保两层楼板的模板竖向支撑上下同轴；

**4** 模板拼接完毕后应进行尺寸测量，构件截面形状及尺寸、钢筋保护层厚度满足设计及相应施工规范要求。

**6.2.4**  模板拆除应符合下列规定：

**1** 模板及其支架的拆除顺序应按施工技术方案执行，并应符合“先支后拆、非承重先拆”的原则；

**2** 不得在所浇筑的混凝土中心温度最高时拆模；拆除模板时，混凝土的表面温度与环境温度之差应低于25℃，且混凝土中心温度与表面温度之差应低于25℃，并处于降温平稳阶段；对于大体积混凝土，宜在气温开始降低前完成拆模，对于墙体混凝土，不宜在气温较高、风速较大时拆模或拆模后立即采用棉被保湿覆盖；

**3**拆除模板时，不应损坏构件表面及棱角，不应撞击其它构造物。拆卸的模板和支架宜分散堆放，及时清运；

**4** 拆除梁、板底模及其支架时，其混凝土强度必须符合施工要求。

**6.3 浇筑、振捣与收面**

**6.3.1** 浇筑方式选择应符合下列规定：

**1**布料设备的选型与布置应根据浇筑混凝土的平面尺寸、配管、布料半径等要求确定，并应与混凝土输送泵相匹配；

**2** 应明确混凝土浇筑的布料位置与间距，混凝土浆体富集区域不应在应力集中处。

**6.3.2** 混凝土浇筑的布料点宜接近浇筑位置，应采取减少混凝土下料冲击的措施，并应符合下列规定：

**1**应先竖向后横向、先高强后低强的顺序浇筑混凝土；

**2**浇筑区域结构平面有高差时，宜先浇筑低区部分再浇筑高区部分。

**6.3.3**  混凝土拌合物的装料、运输、卸料、泵送和浇筑均应在混凝土失去塑性流动前进行，且拌合物从搅拌到浇筑完成的时间宜符合下列规定：

**1**当气温不高于25℃时，不宜超过3h；

**2** 当气温高于25℃时，不宜超过2h。

**6.3.4** 混凝土入模温度应符合下列规定：

**1**夏季高温环境施工时，混凝土拌合物入模温度不宜超过30℃；

**2**冬期低温环境施工时，混凝土拌合物入模温度不应低于5℃。

**6.3.5** 混凝土浇筑与振捣应符合下列规定：

**1**在计划浇筑区段内应连续浇筑，不中断：如有中断，应在浇筑顶面喷雾防止失水结壳且浇筑间断时间不应超过混凝土失去流动性前；

**2** 浇筑竖向结构时，混凝土不应直接冲击侧模板内侧面和钢筋骨架；

**3** 混凝土浇筑宜以阶梯式推进，分层浇筑，单层浇筑高度不应超过50cm；

**4** 混凝土不应过振、欠振和漏振；

**5**混凝土不宜无规律的散落，宜及时整平、收面及覆盖。

**6.3.6** 混凝土拌合物浇筑后宜通过人工收面并及时覆盖保湿。

**6.3.7** 大体积混凝土浇筑与振捣应符合下列规定：

**1** 泵送混凝土和非泵送混凝土的摊铺厚度分别不宜大于500mm和300mm，浇筑时应在平面内均匀布料；

**2** 混凝土振捣时，振动棒移动间距宜为400mm左右，与模板保持50mm~100mm的距离，应插入下层混凝土50mm~100mm，应避免触及温度监测设备及引出线；

**3** 基础大体积混凝土宜先浇筑深坑部分再浇筑大面积基础部分；

**4** 应有排除积水或混凝土泌水的有效技术措施。

**6.3.8** 特殊部位混凝土浇筑与振捣应符合下列规定：

**1** 弯拉结构混凝土浇筑的汇合面宜选择弯矩和剪力较小处；

**2**在后浇带或膨胀加强带部位，混凝土浇筑前应将新旧混凝土接茬面凿毛、清理干净，保持湿润，混凝土振捣应均匀密实，插入振动棒通过快插慢拔的方式控制表面浮浆，结构物表面浮浆厚度小于10mm；

**3**施工缝先浇混凝土段内埋设钢板止水带，并应保证预埋牢固，浇筑混凝土前应清理施工缝残留废弃物或混凝土残渣，并进行凿毛处理，施工缝的结合面处应保持湿润，并不得有积水。

**6.3.9** 采用补偿收缩混凝土的浇筑与振捣应符合下列规定：

**1**浇筑前应制定浇筑计划，并应检查膨胀加强带和后浇带的设置是否符合设计要求，且应确保浇筑部位清理干净；

**2**当采用膨胀加强带取代后浇带时，浇筑方式应根据结构尺寸与膨胀加强带的形式，并应按现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178执行；

**3** 当施工中遇到雨雪需要留施工缝时，对新浇混凝土部位应立即用塑料薄膜覆盖，当出现混凝土已硬化的情况时，应先在其上铺设30mm~50mm厚的同配合比无粗骨料的膨胀水泥砂浆，再浇筑混凝土。

**6.3.10** 钢纤维混凝土的浇筑与振捣应符合下列规定：

**1** 钢纤维混凝土宜采用平板振捣器或附着式振捣器振捣成型；

**2** 浇筑和振捣过程中应保证纤维混凝土密实、纤维分布均匀；

**3** 对于大体积混凝土、预计会出现骨料沉降引起塑性裂缝的结构应在终凝前采用二次抹面。

**6.4 养护**

**6.4.1** 防水混凝土终凝后应立即进行养护，不同构件类型的养护方式应根据具体情况选择，宜符合下列规定：

**1** 底板、顶板及其他水平结构，宜振捣抹面后覆盖薄膜，可进行蓄水养护，也可覆盖土工布、毛毯、麻袋等材料保温保湿养护；

**2** 侧墙或其他竖向结构裂缝控制难度高，需根据模板类型、结构厚度和环境温度制定拆模时间与拆模后的养护方案，拆模时间和养护方案如表6.4.1所示；

**表6.4.1 拆模时间与养护方案**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 模板类型 | 最小截面尺寸d | 要求 | 平均环境温度T（℃） |
| ≤5 | 5＜T≤20 | ＞20 |
| 钢制模板 | d≤500mm | 拆模时间/d | ≤2 | - | - |
| 养护方式 | 保温保湿 | 保湿 |
| d＞500mm | 拆模时间/d | ≤3 |
| 养护方式 | 保温保湿 |
| 木制模板  | d≤500mm | 拆模时间/d | ≥7 | ≥3 | ≥2 |
| 养护方式 | 保湿 |
| d＞500mm | 拆模时间/d | ≥7 | ≥3 | ≥2 |
| 养护方式 | 保温 | 保温保湿 |

备注：保湿措施包括喷淋水管、覆盖薄膜（包括具有预吸水颗粒的复合材料）、喷养护剂等；保温措施包括具有防风功能且导热系数低的保温养护材料等。

**3** 采用洒水养护时，养护用水的温度与混凝土表面温度之差不宜超过15℃，避免混凝土表面温度骤降而引起裂纹；

**4** 采用喷涂混凝土养护剂时，应确保不漏喷和保湿效果；

**5** 保温、保湿养护时间不得少于14d，防水混凝土后浇带养护时间不得少于28天；

**6** 当处于风大环境条件时，宜采用防风措施，并加强保温保湿措施。

**6.4.2** 当处于风大、干燥环境条件时，宜采用防风、增加相对湿度的措施。

**6.4.3** 冬期施工采用热养护时，混凝土静停时间不宜小于2 h，养护升温速度不宜大于15℃/h，恒温温度不宜大于35℃，降温速度不宜大于10℃/h。

**6.4.4** 可以通过在混凝土结构表面喷洒水性渗透型无机防水剂提高混凝土抗裂性能，水性渗透型无机防水剂性能应满足《水性渗透型无机防水剂》JC/T 1018的有关规定。

# 7 质量检验与验收

**7.0.1** 维防水混凝土生产宜在预拌混凝土生产厂生产，生产和运输应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164的有关规定。

**7.0.2** 防水混凝土的所使用的原材料，应提供质量证明文件，质量证明文件应包括型式检验报告、出厂检验报告等，防水混凝土使用的外加剂产品应提供使用说明书。

**7.0.3** 防水混凝土原材料进场后，应进行进场检验；工程施工期间应对混凝土原材料进行抽检。

**7.0.4** 防水混凝土抗渗和抗裂外加剂进场后，应对抗渗和抗裂外加剂中所对应的抗裂、抗渗指标按照标准规定的试验方法进行检验，检验批次按照标准规定进行。

**7.0.5** 防水混凝土原材料应按配合比准确称量，其原材料的质量允许偏差应符合表7.0.5的规定。

**表7.0.5 混凝土原材料质量允许偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 混凝土组成材料 | 允许偏差（%） |
| 水泥、掺合料 | ±2 |
| 粗、细骨料 | ±3 |
| 水、外加剂 | ±1 |

**7.0.6** 防水混凝土应搅拌均匀，宜采用强制式搅拌机搅拌；在掺入膨胀剂、防水剂等外加剂时，其搅拌时间比同等级普通混凝土的搅拌时间应延长30s以上。

**7.0.7** 防水混凝土拌合物在运输、输送、浇筑过程中严禁加水。

**7.0.8** 防水混凝土拌合物当出现离析或坍落度损失后不能满足施工要求时，应加入原配合比的水泥浆或掺加同品种的减水剂进行搅拌，加入的量应由试验确定，经处理。验收不合格的混凝土，严禁使用，并作出记录。

**7.0.9** 防水混凝土的抗压强度、抗渗性能和抗裂性能必须符合设计要求。防水混凝土结构裂缝宽度不得大于0.2mm，并不得出现贯穿裂缝，对宽度大于0.05mm的贯穿裂缝应进行修补处理。

**7.0.10** 防水混凝土结构表面应坚实、平整，不得有露筋、蜂窝等缺陷；不得出现贯穿裂缝。

**7.0.11** 防水混凝土结构厚度不应小于设计要求，其允许偏差应为+8mm、-5mm；主体结构迎水面钢筋保护层厚度不应小于50mm，其允许偏差为±5mm。

**7.0.12** 当混凝土结构出现贯穿裂缝时，应从涉及的结构设计、构造措施、混凝土材料、施工过程控制、各类荷载及环境条件等方面分析其成因。对于已有贯穿裂缝的处理，可采取下列处理方式：

**1** 对于一般贯穿裂缝，应采用环氧树脂灌浆处理；对于一般裂缝中的其他裂缝的封闭，无紫外线影响的区域可选用环氧胶泥处理，有紫外线影响的区域可选用聚氨酯有机涂层处理；一般裂缝可采用硅烷浸渍进行防水处理；

**2** 严重裂缝的修补应在其最宽、最长的状态下，实施环氧灌浆处理；严重裂缝的补强加固应根据裂缝成因及结构承载能力要求制定专用方案。

# 用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1** 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

**2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”， 反面词采用“不应”或“不得”。

**3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

**4** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

# 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《混凝土结构通用规范》GB55008

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080

《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107

《地下工程防水技术规范》GB 50108

《混凝土质量控制标准》GB 50164

《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476

《大体积混凝土施工标准》GB 50496

《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《建设用砂》GB/T 14684

《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046

《水泥基渗透结晶型防水材料》GB 18445

《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120

《混凝土膨胀剂》GB/T 23439

《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690

《用于水泥砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164

《混凝土用钢纤维》GB/T 39147

《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55

《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104

《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178

《混凝土耐久性能检验评定标准》JGJ/T 193

《混凝土结构用钢筋间隔件应用技术规程》JGJ/T 219

《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221

《混凝土拌合用水标准》JGJ 63

《钢纤维混凝土》JG/T 472

《砂浆、混凝土防水剂》JC 474

《混凝土用复合掺合料》JG/T 486

《水性渗透型无机防水剂》JC/T 1018

《砂浆、混凝土减缩剂》JC/T 2361

《混凝土水化温升抑制剂》JC/T2608

《防裂抗渗复合材料在混凝土中应用技术规程》T/CECS 474

《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》T /CECS 540

《用于混凝土中的防裂抗渗复合材料》T/CECS10001

《混凝土用钙镁复合膨胀剂》T/CECS10082

中国工程建设标准化协会标准

防水混凝土应用技术规程

T/CECS xxx－202x

条 文 说 明

**制 定 说 明**

本规程《防水混凝土应用技术规程》制定过程中，编制组进行了防水混凝土应用技术的项目研究，总结了我国混凝土抗裂防水的实践经验，同时参考了补偿收缩混凝土、水化热调控及纤维阻裂等混凝土抗裂防水的先进技术，通过传混凝土力学性能试验、抗渗性能试验、抗裂性能试验、耐久性能试验和模拟试验等，并结合实际工程试验形成了防水混凝土应用技术。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程《防水混凝土应用技术规程》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节 、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**目 次**

**[1 总 则 24](#_Toc128232753)**

**[2 术 语 25](#_Toc128232754)**

**[3 基本规定 26](#_Toc128232755)**

**[4 原材料 27](#_Toc128232756)**

[4.1 水泥 27](#_Toc128232757)

[4.2 矿物掺合料 27](#_Toc128232758)

[4.3 骨料 27](#_Toc128232759)

[4.4 抗裂防水功能材料 27](#_Toc128232760)

**[5 设 计 29](#_Toc128232761)**

[5.1 一般规定 29](#_Toc128232762)

[5.3 防水混凝土性能 30](#_Toc128232763)

[5.4 混凝土配合比 31](#_Toc128232764)

**[6 施工 32](#_Toc128232765)**

[6.1 一般规定 32](#_Toc128232766)

[6.2 模板与支撑 32](#_Toc128232767)

[6.3 浇筑、振捣与收面 32](#_Toc128232768)

[6.4 养护 32](#_Toc128232769)

**[7 质量检验与验收 34](#_Toc128232770)**

# 1 总 则

**1.0.1** GB50108《地下工程防水混凝土应用技术规范》中对防水混凝土的基本描述为“防水混凝土可通过调整配合比，或掺加外加剂、掺合料等措施配置而成，其抗渗等级不得小于P6”，其侧重于对混凝土抗水渗性能的描述，然而混凝土抗水渗是根据混凝土试验室内抗水渗试验所得，与工程实际偏离较远，任意防水混凝土截面裂缝的出现，都将使防水混凝土的自防水功能丧失，进而影响防水混凝土的耐久性，甚至危害结构安全；混凝土外加剂的技术不断创新和发展，尤其是高效、高性能混凝土减水剂的使用，现代混凝土的抗水渗性能已然不再是防水混凝土的薄弱环节，防水混凝土的抗裂性能就越发凸显出重要性。防水混凝土可以通过混凝土配合比调整、加强施工及养护等一些技术手段实现，也可以通过掺加功能型外加剂、矿物掺合料、工程纤维等技术手段来改善混凝土孔结构、密实度及开裂敏感性，实现防水混凝土少裂或不裂的效果，从而达到防水混凝土真正防水的目的。本规程基于原防水混凝土相关抗渗性能指标，采用一系列先进的技术措施提升混凝土抗裂性能，并保证其抗渗性能，从整体上提升混凝土防水能力，从而提升防水混凝土结构的安全性。

**1.0.2** 本条规定了规程的适用范围，本规程适用于防水混凝土在工业与民用建筑、交通、石油化工、市政、轨道交通等建设工程中的应用。

# 2 术 语

**2.0.1**  关于防水混凝土的定义在国家及行业标准规范中涉及较少，根据调研“防水混凝土”这一名词在标准规范层面提出的规范为GBJ208-83《地下防水工程施工及验收规范》，但对防水混凝土并未给出具体定义，只是提到了关于防水混凝土的配制所用材料及配比要求。在性能要求方面，也只提到了防水混凝土在侵蚀介质中使用时其侵蚀系数不小于0.8。之后的GBJ 108—87《地下工程防水技术规范》、GB 50108-2001《地下工程防水技术规范》等一系列标准正文中都有涉及防水混凝土的章节，但均是从一般规定、设计、材料及施工方面说明防水混凝土应具备的性能及要求，未给出具体的定义。在 GB 50108-2008《地下工程防水技术规范》条文说明里面首次在标准里面提到，防水混凝土是通过调整配合比，掺加外加剂、掺合料等方法配制而成的一种混凝土，并强调抗渗等级是根据素混凝土试验室内试验测得及其等级不小于P6，根据 GB 50108 中关于防水混凝土的核心性能指标主要是抗渗性能，基本可以理解为抗渗混凝土。

综上标准关于防水混凝土的定义，大多定义都是通过配合比调整或掺外加剂的途径改善孔结构，提高密实度，从而使其混凝土具备一定的抗渗性能（抗渗压力大于0.6MPa）。受常规抗渗试验试件及检测方法的限制，从试验室配制防水混凝土而言，上述定义均是合理的。但对于工程实际需求的防水混凝土角度而言，防水混凝土仅仅要求满足抗渗性能是不全面的。对于一个局部的小试件（抗渗试块）由于体积小，不存在开裂的风险，但是对于大体积、大面积或长尺寸的混凝土结构而言，一旦混凝土结构出现贯穿性的裂缝，此类防水混凝土就失去了原有的防水功能。

因此，防水混凝土定义里面应与普通混凝土最明显的区别，除了应该具有的一定抗渗性能以外，最关键的是防水混凝土具有的抗裂性。基于此，防水混凝土是通过混凝土配合比调整、掺加外加剂等技术手段改善混凝土孔结构、密实度及开裂敏感性，配制成的具备一定抗渗性和抗开裂性能的混凝土。

**2.0.2** 混凝土结构温峰值即为混凝土内部达到的最高温度值，其值可以是测定的混凝土中心温度。当结构混凝土的厚度不大于1000mm时，该温度值通常可选择结构中心位置进行测定；当结构厚度大于1000mm，可选择水平方向的中心、竖直方向距离表面下500mm的交叉位置进行测定。

**2.0.4** 为更好的评价混凝土温升情况，本条参照GB/T 50080《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》标准中混凝土绝热温升试验方法，制定了混凝土绝热温升降低率评价指标，具体计算公式如下：

$$γ\_{n}=\frac{θ\_{n}^{’}−θ\_{n}}{θ\_{n}}$$

式中：γ\_n——为n天混凝土绝热温升降低率；

 θ\_n^’——为受检混凝土n天的绝热温升值；

 θ\_n——为基准混凝土n天的绝热温升值；

# 3 基本规定

**3.0.1** 本条规定了防水混凝土的应用范围。

**3.0.2**  对于不同防水工程，对于强度等级、抗渗等级、抗裂性能和耐久性等指标都存在一定的差异性，设计师在设计的过程中，往往会针对一些特殊工程提出不同的要求，因此在防水混凝土应用中，要根据设计要求的不同进行应用。

**3.0.3**  为了满足现代建筑功能的需求，现代混凝土不断向超高、超长、超大、高标号等方向发展，其结构体系越来越复杂，为了使混凝土结构整体性更加完整，往往多采取一次性整体浇筑，这对于混凝土裂缝控制提出了更高的要求。对于大体积、高强度、强约束的混凝土结构而言，其具有强度高、胶凝材料用量多、水化放热大、收缩大的特点，其裂缝控制难度也更高，往往靠单一的技术手段很难实现有效的裂缝控制，需要从设计、施工、材料等各方通力配合才能完成，因此，对于这类防水混凝土结构，建议进行专项技术方案的制定。

**3.0.4** 大量工程实践证明，混凝土施工过程中设置变形缝、施工缝、后浇带等结构缝可以在一定程度上降低混凝土裂缝的产生，但是往往结构缝的设置会带来更多的问题，特别是结构缝的节点处理，结构缝往往处在混凝土粘结相对薄弱处，其处理通常采用止水带和附加防水层等措施，这种做法不仅会增加施工程序，而且会增加额外的材料费和人工费，并且由于止水带和附加防水层等措施与混凝土材质不同，其混凝土结构的整体性和防水性能会大打折扣，因此防水混凝土在施工过程中应采取必要的措施减少结构裂缝的设置。

# 4 原材料

**4.1 水泥**

**4.1.1~4.1.6** 水泥是防水混凝土的重要原材料，在混凝土结构施工过程中，混凝土温度收缩产生的裂缝占很大一部分，为降低混凝土因水泥水化热引起的温升，达到降低温度应力带来的开裂风险，本条结合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175的有关规定，建议对于大体积和超大面积混凝土施工在条件允许的情况下使用中低热水泥。并明确规定了水泥比表面积的范围，水泥虽然越细其混凝土早期强度发展越快，但是对于裂缝控制而言，水泥越细，会导致混凝土早期水化放热速率明显加快，使得混凝土自收缩和混凝土早期水化速率急剧增加，集中的早期放热使得混凝土结构温升大幅度提高，混凝土早期开裂风险急剧增加，因此为了降低混凝土开裂风险，需要对水泥细度进行控制。

**4.2 矿物掺合料**

**4.2.1~4.2.5** 矿物掺合料可以降低混凝土水化热，在一定程度上改善混凝土收缩性能，降低混凝土的开裂风险，在保证混凝土质量的情况下也可以选择大掺量粉煤灰进行混凝土配合比设计，复合掺合料由于其材料的稳定性，并改善混凝土的和易性及密实性能，对提高混凝土密实性有很好的效果，在防水混凝土中可以加以使用。

**4.3 骨料**

**4.3.1~4.3.4** 砂石骨料是配制混凝土的重要原材料之一，其性能严重影响着混凝土的性能，好的砂石骨料可以保证防水混凝土的密实性和抗裂性，特别是对于骨料的选择，选用线膨胀系数较小的岩石制备骨料可以有效的降低混凝土线膨胀系数，从而使混凝土温度变形减小，对应混凝土产生的温度应力也变小，其抗裂能力越高，骨料的线膨胀系数随岩性而变化，其中石英岩最大，其次是砂岩、花岗岩、玄武岩和石灰岩，依次减小，因此对于大体积混凝土等温升较大的混凝土，宜选用石灰岩和玄武岩等线膨胀系数较小的岩石制备骨料。

**4.4 外加剂**

**4.4.1** 对于防水混凝土而言，为实现真正的防水，我们需要同时满足混凝土抗渗和抗裂的相关要求，在实际工程中，我们可以根据需要选择合适的技术手段实现防水，就现有技术而言，我们可以通过调整混凝土配合比、加强混凝土振捣、进行混凝土抹面等常规手段实现降低混凝土开裂风险，也可以通过添加膨胀剂、抗裂纤维、减缩剂、水化热抑制剂、防水剂、水泥基渗透结晶等抗裂抗渗外加剂提升混凝土防水性能。

**4.4.2** 研究表明：不同膨胀对应的反应速率也不相同。对于钙质膨胀剂而言，其主要膨胀组分有硫铝酸盐、铝酸盐和氧化钙等，其膨胀源主要是钙矾石(C3A.3CaSO4.32H2O)或Ca(OH)2。以钙矾石和氢氧化钙作为膨胀源的膨胀剂水化速率较快，对水泥基材料后期收缩的补偿作用不明显，其20℃水化反应1d可以达到80%以上，7d水中基本反应完，其反应大部分处于混凝土塑性阶段，为无效膨胀，并且随着养护温度的升高，其反应速率更快，40℃条件下，3d左右基本反应完，而对于混凝土而言，在该周期内，混凝土往往处于升温阶段或者降温阶段初期，无法有效的补偿混凝土降温阶段的收缩和后期干燥收缩，因此，钙质膨胀剂适用于胶凝材料水化温升导致混凝土内部温度不超过40℃的环境。对此，GB/T 23439-2017《混凝土膨胀剂》第1号修改单中也做出了明确说明，并且钙矾石在超过80℃环境中可能产生分解，对混凝土结构产生不利影响，因此对于长期处于超过80℃的工程结构，严禁使用钙质膨胀剂；对于氧化镁膨胀剂而言，其采用轻烧氧化镁技术煅烧的氧化镁膨胀剂具有比钙质膨胀剂更慢的反应速率，其在20℃水养条件下膨胀反应周期可以达到90d以上，即使在40℃条件下膨胀周期也可以达到30d左右，并且氧化镁膨胀剂还可根据使用环境（地区、温度、湿度等）和混凝土结构的不同，设计不同掺量和活性，灵活调控混凝土膨胀性能和规律，实现不同条件下产品膨胀和混凝土收缩协调发展，全周期同步补偿，根据不同的混凝土强度等级、结构尺寸、浇筑温度、服役环境等，设计不同掺量和活性的氧化镁膨胀剂，可实现不同工况条件下产品膨胀和混凝土收缩全周期的协调补偿。因此在选用膨胀剂类型时，应结合工程实际情况。

对于需要同时控制水化温度和混凝土收缩的防水混凝土而言，其相对于普通混凝土具有更高的水化温升以及更长的降温周期，其处于高温阶段的时间也更长，在不采取任何措施的情况下，混凝土内部温度超过40℃的时间可以达到10d以上，见图1。在此环境下，建议采用温控型镁质抗裂剂，不建议采用水化热调控材料复配氧化钙类膨胀剂，主要是由于氧化镁膨胀剂具有延迟膨胀效果，膨胀效能可以达到30d以上，且具有水化需水量少、水化产物物理化学性质稳定、膨胀过程可调控设计的特点，其延迟微膨胀效应与混凝土的降温过程和干缩过程匹配良好，更能与混凝土收缩相协同，再加上水化热调控材料对于混凝土温升的调控，对于补偿混凝土收缩、提高混凝土抗开裂性能更有效果。如果采用钙质膨胀剂复配水化热调控材料，由于水化热调控材料会延长混凝土塑性阶段的时间，钙质膨胀剂反应大部分会在此阶段发生，即使没有完全反应，随着混凝土温度的升高，其反应速率也会加快，膨胀效能在混凝土升温阶段就结束，对于混凝土后期降温和干燥收缩无法发挥其补偿收缩作用，同时由于其过快的反应速率在前期会大量放热，使水化热调控材料调控作用无法达到预期效果，对混凝土温度裂缝控制不利。因此，在该类环境下，建议使用温控型镁质抗裂剂。



**图1 大体积混凝土内部温度变化曲线**

**4.4.3** 本条规定了防裂抗渗复合材料的性能指标。

**4.4.4** 本条规定了化热调控材料的性能指标。

**4.4.5** 本条规定了合成纤维在防水混凝土中使用的性能指标。

**4.4.6**  本条规定了钢纤维在防水混凝土中使用的性能指标。

**4.4.7**  本条规定了水泥基渗透结晶型防水剂在防水混凝土中使用的性能指标。

# 5 设 计

**5.1 一般规定**

**5.1.2** 对于不同结构尺寸和部位、不同强度等级、不同水化温升的混凝土而言，其对抗裂需求各不同，在对防水混凝土抗裂性能进行设计时，应予以综合考虑。

**5.1.3** 轨道交通、地下管廊等地下工程和具有蓄水功能的迎水的主体结构应根据工程实际情况提高结构防水等级和采取更严格的裂缝控制措施。

**5.1.5** 当采用预应力结构或结构环境有腐蚀性时，应进行抗裂验算或采取更严格的裂缝宽度。

**5.2 混凝土抗裂设计**

**5.2.1** 通过设置伸缩缝、后浇带、膨胀加强带或诱导缝或采用跳仓法施工等措施均可以在一定程度上减轻外部对于混凝土的约束，同时也可以减少混凝土因集中浇筑带来的集中放热，防止水化热聚集，减少温度应力。但是应该指出的是伸缩缝、后浇带、膨胀加强带、诱导缝、跳仓法施工对于节点的处理要求更高，可以通过结合补偿收缩混凝土技术，减少施工节点的设置。对于结构复杂的平面结构防水工程，由于其结构不规则，导致混凝土结构所受约束力多变，因此需要结合工程实际情况进行整体抗裂防水设计，使混凝土结构能够达到抗裂防水要求，同时，需要对重点部位采取相应措施，减小局部约束应力，降低混凝土开裂风险。

**5.2.2** 对于保护层厚度过大的混凝土，容易造成早期塑性开裂，为降低其开裂风险，需要采取一定的抗裂措施，设置防裂钢筋网片或纤维网片，可以在一定程度上提升混凝土抗拉能力，从而减少混凝土早期开裂风险，除了采取上述措施外，对于此类混凝土，还应该加强保湿养护，减少混凝土水分散失，这样也可以提高混凝土抗裂能力。

**5.2.3** 利用混凝土膨胀剂配置的补偿收缩混凝土作为防水混凝土裂渗控制最经济的技术手段之一，近年来得到了大量的工程应用，取得了丰富的工程经验。其中国内主流的混凝土膨胀剂包含GB/T23439中的硫铝酸钙类膨胀剂、氧化钙类膨胀剂、硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂，CBMF19中的氧化镁膨胀剂及T/CECS 10082中的钙镁复合膨胀剂，膨胀剂依据膨胀源可以分为三类：硫铝酸钙类、氧化钙类和氧化镁类，不同膨胀源其水化与膨胀特性各不相同。硫铝酸钙类膨胀剂水化反应产物为钙矾石，水化需要大量的水，对于早期养护有很大的需求；氧化钙类膨胀剂水化反应产物为氢氧化钙，水化需水量相对较小，但其放热量很高；氧化镁膨胀剂水化产物为氢氧化镁，可以补偿混凝土后期收缩，水化需水量较少，水化产物相对于钙质膨胀剂稳定性较好。

不同膨胀对应的反应速率也不相同。对于以氧化钙和硫铝酸钙为膨胀源的钙质膨胀剂而言，其20℃水化反应1d可以达到80%以上，7d水中基本反应完，其反应大部分处于混凝土塑性阶段，为无效膨胀，并且随着养护温度的升高，其反应速率更快，40℃条件下，3d左右基本反应完，而对于混凝土而言，在该周期内，混凝土往往处于升温阶段或者降温阶段初期，无法有效的补偿混凝土降温阶段的收缩和后期干燥收缩，因此，钙质膨胀剂适用于胶凝材料水化温升导致混凝土内部温度不超过40℃的环境。

对于氧化镁膨胀剂而言，其采用轻烧氧化镁技术煅烧的氧化镁膨胀剂具有比钙质膨胀剂更慢的反应速率，其在20℃水养条件下膨胀反应周期可以达到90d以上，即使在40℃条件下膨胀周期也可以达到30d左右，并且氧化镁膨胀剂还可根据使用环境（地区、温度、湿度等）和混凝土结构的不同，设计不同掺量和活性，灵活调控混凝土膨胀性能和规律，实现不同条件下产品膨胀和混凝土收缩协调发展，全周期同步补偿，根据不同的混凝土强度等级、结构尺寸、浇筑温度、服役环境等，设计不同掺量和活性的氧化镁膨胀剂，可实现不同工况条件下产品膨胀和混凝土收缩全周期的协调补偿。

采用温控材料与氧化镁膨胀剂进行复合，由于氧化镁膨胀剂的反应速率较慢，可以降低由于温控材料导致混凝土塑性阶段变长带来的膨胀量的损失，同时该产品既可以有效控制混凝土温升，还可以对混凝土收缩进行补偿，能有效控制混凝土温度收缩和干燥收缩，双重作用下，对于降低混凝土的开裂风险效果更为明显。

研究表明：温度及其变化对混凝土膨胀剂的膨胀性能会产生至关重要的作用。因此识别和预估因施工环境温度、混凝土入模温度、混凝土温升温降历程、混凝土配合比以及混凝土结构尺寸带来的温度效应对于选用适宜的膨胀剂和应用比例非常有意义，防水混凝土中的膨胀剂的应用需要精准调控才能发挥作用，否则适得其反。

**5.2.4** 掺加纤维类材料的混凝土对早期塑性收缩开裂具有抑制作用,其主要机理是混凝土在早期塑形阶段，强度很低或基本没有强度，而具备一定抗拉强度并在混凝土中呈三维乱相分布的纤维承担了导致混凝土开裂的拉应力，从而抑制了混凝土早期裂缝的发生。因此掺加纤维类材料的混凝土宜采用早期抗裂试验方法进行抗裂性能评价，一般情况下，低模量合成纤维主要抑制混凝土早期裂缝的发生，对硬化后混凝土的抗开裂作用有限，高模量的合成纤维和钢纤维对硬化后混凝土具有较好的抗裂性能，能够提高混凝土的抗折强度，因此对于掺加高模量合成纤维或钢纤维的混凝土可采用折压比指标进行抗裂性能评价。

**5.2.5** 水化热调控材料是一种具有降低水泥水化加速期反应速率，延长水化放热过程，基本不影响水化放热总量的，从而实现降低混凝土温度开裂风险的新型混凝土外加剂，其主要作用是调节水泥早期水化放热反应，降低水化加速期的放热速率，然后结合混凝土结构尺寸、模板等散热条件，实现降低混凝土水化温升的目的。其与缓凝剂最主要的却别在于缓凝剂并不能降低混凝土加速期的反应速率，只是将反应时间向后推移，因此在采用绝热绝热温升试验进行水化热调控材料进行抗裂性能评价时，为了区别于缓凝剂，首先需要水化热调控材料满足标准《混凝土水化温升抑制剂》（JC/T2608）相关技术指标。

对于结构最小截面尺寸超过800mm或预测因水化热容易产生开裂、强度等级不低于C50的工程结构，宜按大体积混凝土的相关规定控制混凝土裂缝，可选用水化热抑制剂材料或水化热调控型镁质高效抗裂剂材料对混凝土水化热和收缩进行控制。

**5.3 防水混凝土性能**

**5.3.1~5.3.2** 防水混凝土应注意控制拌合物的和易性、粘聚性和保水性，并使之不得离析，在满足泵送施工要求的情况下，严格控制混凝土坍落度，有利于提升混凝土抗裂性能和耐久性能。

**5.3.3** 现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164规定了混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量要求，现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010中规定了混凝土拌合物中总碱含量要求，防水混凝土与其相同。

**5.3.4** 纤维类材料掺入混凝土中如果发生团聚不仅起不到抗裂效果，还会影响混凝土力学性能和耐久性能，因此在掺入纤维时，应注意避免纤维结团现象，并应保证纤维分布均匀。对于掺加纤维的混凝土，除了应该保证纤维的品质，在搅拌时，应该延长混凝土搅拌时间，使纤维在混凝土分散更加均匀。

**5.3.5~5.3.8** 防水混凝土的力学性能、长期性能和耐久性能均需按国家现行相关标准规定执行。

**5.4 混凝土配合比**

**5.4.1** 本条规定防水混凝土配合比设计除满足现行国家标准外，对混凝土强度等级、胶凝材料用量、水胶比、砂率等从提高混凝土抗渗和抗裂性能的角度给出了建议。

**5.4.2** 本条规定了不同膨胀剂的推荐掺量范围，该数基于大量工程应用实践。针对一些具有特殊要求的工程，其最佳掺量需要根据试验进行确定。

**5.4.3** 由于不同类别的抗渗符合材料所用的粉体材料和合成纤维的性能以及比例存在一定的差异，其在混凝土内表现的功能也不尽相同，因此为了更好的实现抗裂效果，用户应按照自身性能需求按材料生产商推荐的掺量进行相关抗裂防渗试验，确定材料的最佳掺量和配合比最佳调整方案。

**5.4.4** 防水混凝土中纤维的使用实际胶凝材料用量应以保证混凝土拌合物性能、力学性能和耐久性为目的。合成纤维和钢纤维掺量通常以体积率表示。若合成纤维和钢纤维体积率过低则起不到一定的抗裂效果，若过高的钢纤维掺量会显著增加混凝土基体的孔隙率甚至降低混凝土强度和抗渗性能。当前推荐的体积率范围可满足大多数结构构件的抗裂要求，设计人员可在参考范围内依据现行规程进行配合比设计，经试验确定最终的合成纤维和钢纤维体积率。

关于建议“水溶性胶水粘结成排型钢纤维”主要考虑钢纤维长径比大于50后容易结团。这些抱团的钢纤维是没有被混凝土填充握裹的，会在混凝土内部形成空洞，不符合防水的应用要求。所以建议使用分散性好的粘结成排型钢纤维以避免起团。

# 6 施工

**6.1 一般规定**

**6.1.5** 防水混凝土进行分层浇筑时应该避免间隔时间过长产生“冷缝”，每层见间隔时间应该以混凝土的初凝时间为准，同时分层浇筑时，应该采用插入式振捣棒加强振捣，振捣时间应该根据混凝土流动性大小确定。

**6.2 模板与支撑**

**6.2.2** 本条规定了模板设计要求。

**6.2.3** 本条文规定了模板安装应注意事项。

**6.2.4** 本条文规定了防水混凝土拆模时间和应采取的措施，大量的工程实践证明，过早或者过晚拆模，对于混凝土裂缝控制都不利，过早拆模可能导致混凝土表面温度过低，混凝土内外形成温度梯度，产生较大的约束应力，极易产生温度裂缝；而过晚拆模则不利于混凝土的养护，混凝土干缩较大，极易形成干缩裂缝。在炎热和大风干燥等特殊环境下，应采取逐段拆模、边拆边盖边养护的拆模工艺，拆除模板时，不得影响或中断混凝土的养护工作。拆模后的混凝土结构应在混凝土达到100%的设计强度后，方可承受全部设计荷载。

**6.3 浇筑、振捣与收面**

**6.3.2** 混凝土的浇筑和振捣应尽量减少对于模板和钢筋的扰动，大量的工程实践证明，工程结构中很多裂缝是由于钢筋和模板扰动形成的，加强浇筑时的管理，可以有效避免此类裂缝的产生。

**6.3.3** 混凝土在失去塑性流动后进行浇筑会影响混凝土的振捣，导致混凝土密实性不够，同时对于混凝土裂缝控制也不利，因此应该严格控制混凝土浇筑时的状态，对于不满足要求的混凝土，应进行有效的处置，满足要求后才能使用。

**6.3.4** 本条规定了防水混凝土的入模温度，夏季施工，如果不采取原材料降温措施，原材料的高温会直接影响混凝土拌合物的出罐温度和入模温度，入模温度过高，对混凝土裂缝控制极为不利。而冬季施工入模温度过低则会影响混凝土强度的增长。

**6.3.5** 防水混凝土振捣质量直接影响到混凝土成型后的密实度及混凝土表观质量，充分合适的振捣可较大程度的提高混凝土抗裂和抗渗能力。

**6.3.6** 混凝土浇筑后收面及覆盖薄膜保湿可以有效避免混凝土表面水分散失过快出现干缩裂缝，控制表面非结构性细小裂缝的出现和发展，必要时，可在混凝土初凝前进行表面二次抹压处理。

**6.4 养护**

**6.4.1** 本条规定了防水混凝土应采取的养护措施，夏季施工时，对于底板、顶板等水平结构或是厚度不超过500mm的侧墙等竖向结构，可以采取直接蓄水或洒水养护，或是采用塑料薄膜、养护毛毯、麻袋、毛毡、土工布、节水保湿养护膜等进行保湿养护，减少混凝土内部水分散失；冬季施工时，则需要进行保温保湿养护。对于大体积混凝土而言，需要根据环境条件进行适当的保温保湿养护，通过保温，可以减少大体积混凝土表面散热，从而降低大体积混凝土结构里外温差，降低混凝土结构因内外温差过大导致的温度裂缝，同时，通过保温，也可以降低大体积混凝土的降温速率，延长混凝土散热时间，加速混凝土强度的增长，提高混凝土抗拉强度，从而提高混凝土抗裂能力，达到降低或防止混凝土温度裂缝的产生。

**6.4.2~6.4.3** 规定了在大风、干燥、冬季等特殊环境条件时，为控制混凝土不出现有害裂缝，保证混凝土质量，应遵守的养护技术措施。

**6.4.4**  水性渗透型无机防水剂通常在混凝土拆模以后进行喷涂，其可以在混凝土表面形成一层养护膜，减少混凝土水分散失，起到一定的养护作用，同时如果结构开裂，水性渗透型无机防水剂内的有效组分可以随渗透水进入裂缝中，与混凝土水化产物发生反应，形成无机盐结晶体堵塞裂缝，对裂缝进行修补，提高混凝土结构抗裂性能，当其他养护条件或措施无法实施时，可采取该养护措施。需要注意的是，如果要使其达到最大的养护效果，需要严格控制混凝土结构拆模时间，如果拆模时间太晚，混凝土内部水分散失过多，不能达到最佳养护效果。

# 7 质量检验与验收

**7.0.6** 充分搅拌能使膨胀剂、抗裂纤维、防水剂等外加剂在混凝土中的均匀分布，这对于其在混凝土中抗裂和抗渗作用的发挥起着至关重要的作用，因此在使用这些外加剂的过程中，应根据生产条件，适当的延长搅拌时间。

**7.0.12** 当混凝土结构出现贯穿裂缝时，应根据具体分析裂缝产生的原因，根据裂缝形成的具体情况选择合适的修补方式，避免二次裂缝的出现，对于一般贯穿裂缝，可采用环氧树脂或者无机修补材料进行灌浆处理；严重裂缝的补强加固应根据裂缝成因及结构承载能力要求制定专用方案。